

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :
(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 248 246

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 73 37326

(54) Bétons à haute résistance mécanique.

(51) Classification internationale (Int. Cl.²). C 04 B 15/08.

(33) (32) (31) (22) Date de dépôt 19 octobre 1973, à 14 h 22 mn.
Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — «Listes» n. 20 du 16-5-1975.

(71) Déposant : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, résidant en France.

(72) Invention de : Pierre Mauny.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Société Brevatome.

La présente invention se rapporte à un procédé d'obtention de bétons à haute résistance mécanique et en particulier à haute résistance à la compression.

De nombreux travaux ont été faits en vue d'obtenir des bétons à haute résistance mécanique et des essais menés en laboratoire ont permis, dès 1910, d'obtenir des résistances de 1000 bars mais les essais de laboratoires mettent en œuvre des opérations comme par exemple l'étuvage, la carbonatation sous pression, l'obstruction des pores par imprégnation, le compactage en pâte ferme, l'utilisation de fibres, l'enrobage des granulats par des résines, qui sont trop compliquées pour être applicables sur les chantiers où seules les méthodes traditionnelles peuvent être appliquées et où l'on a pratiquement jamais pu obtenir de résistance supérieure à 500 bars, à 28 jours en essais normalisés.

Il ressort des études faites sur les bétons que leur résistance à la compression est fonction de quatre principaux facteurs liés à sa composition et qui sont les granulats, le ciment, l'adhérence granulat-ciment et la compacité. Ces quatre facteurs principaux sont sous la dépendance de nombreux paramètres tels que les propriétés physiques et chimiques des composants, la quantité d'eau de gâchage.

Ces paramètres peuvent intervenir sur plusieurs des quatre facteurs principaux, par exemple la variation de la quantité d'eau de gâchage modifie le retrait du ciment, donc l'adhérence avec les granulats, elle intervient aussi sur les conditions de la réaction chimique d'hydratation du ciment et sur la compacité du béton. En outre, ces paramètres ne sont pas indépendants : ainsi, la forme des granulats dépend de leur provenance suivant qu'ils sont concassés ou roulés, et pour les concassés, cette forme est en étroite liaison avec leur résistance mécanique, leur module d'élasticité ainsi que leur nature minéralogique.

Il est impossible par conséquent de créer le meilleur béton en choisissant les conditions optimales, systématiquement pour chaque paramètre dont certains agissent de manière contradictoire. C'est ainsi qu'une plus grande finesse du ciment améliore la résistance mécanique en pâte pure, mais elle augmente la quantité d'eau nécessaire au gâchage du béton, donc son retrait, l'adhérence et la

BAD ORIGINAL

compacité sont diminuées, et l'effet bénéfique du ciment est souvent masqué. En outre, si l'on essaie d'optimiser au maximum les paramètres afin de produire un béton ayant des caractéristiques mécaniques très élevées, on obtient un matériau inutilisable sur chantier en raison du fait que sa maniabilité est médiocre.

La confection d'un béton, même lorsque de bonnes résistances sont recherchées, reste donc un compromis entre différentes qualités, sa maniabilité, c'est-à-dire son aptitude à une mise en place avec faible serrage et sans ségrégation, restant un impératif catégorique.

On a maintenant découvert conformément à l'invention, que l'on peut accroître les résistances mécaniques des bétons en améliorant l'adhérence des granulats et du ciment dont ils sont constitués.

L'invention a pour objet un procédé de fabrication de bétons à haute résistance mécanique en compression, obtenu par mélange de gravillons à forte résistance à la compression, de sable et de ciment en milieu aqueux, caractérisé par le fait que l'on utilise des sables en céramique poreuse telle que la terre cuite, ayant une granulométrie comprise entre 0,1 et 5mm dont le diamètre des pores est compris entre 0,5 et 15 microns et choisi de façon à être légèrement supérieur à la grosseur des cristaux de ciment utilisé.

Le choix des céramiques utilisées est guidé par le fait que leur porosité peut être réglée à volonté en choisissant le mélange des composants, la température et l'atmosphère de cuisson. Les terres cuites que l'on utilise de préférence sont élaborées à partir de mélanges d'argiles kaoliniques, d'argiles illitiques et de marnes.

On précise que le rôle des pores est double :

- 1°) améliorer l'adhérence par ancrage des cristaux de ciment hydratés.
- 2°) constituer une réserve d'eau pour l'hydratation différée du ciment anhydre.

En ce qui concerne la première action, des études récentes montrent que l'hydroxyde de calcium est l'élément essentiel de l'adhérence ciment-granulat.

En effet, l'hydrolyse de l'alite et de la bélite conduit à la libération d'hydroxyde de calcium partiellement solubilisé. En

BAD ORIGINAL

raison de la mobilité des ions en solution, cette hydroxyde de calcium se disperse dans l'eau libre, c'est-à-dire à la surface des granulats (eau adsorbée) et dans les pores, où la solution devient rapidement sursaturée avec cristallisation de cet hydroxyde de calcium.

Il y a création d'un ancrage mécanique supérieur à celui obtenu avec les granulats actuellement utilisés, à condition que le diamètre des pores des granulats permette le développement des dits cristaux.

En ce qui concerne la deuxième action, il importe que le spectre paramétrique des terres cuites utilisées soit parfaitement défini. Les pores trop gros sont inutiles, et les pores trop fins sont absolument à proscrire en raison de la loi de Jurin sur l'ascension capillaire, car ils ont tendance à déshydrater le ciment au cours de son durcissement. Au contraire, si les pores de la terre cuite sont légèrement plus gros que ceux développés dans la pâte de ciment durci, il se produit une lente dessication de la terre cuite au profit du ciment et celui-ci accroît son durcissement dans le temps, même s'il est conservé en milieu sec.

Ce phénomène a pu être mis en évidence par des analyses thermogravimétriques effectuées sur des échantillons identiques, mais à différents âges de conservation en milieu confiné ; la quantité totale d'eau reste identique, mais l'eau chimiquement liée au ciment augmente avec l'âge au détriment de l'eau liée physiquement par capillarité.

En raison des caractéristiques propres de chaque ciment, il est nécessaire d'utiliser la matière poreuse qui lui est strictement adaptée, ainsi qu'il est montré dans les tableaux 1, 2 et 3 ci-après.

Il apparaît dans ces tableaux que le granulat A exige beaucoup d'eau pour la mise en œuvre du mortier, ce qui s'explique par sa grande porosité. Les pores ouverts sont fins : 0,5 à 2 microns, et seul le CPA 400 HTS ($2990 \text{ cm}^2/\text{g}$) permet d'obtenir de grandes résistances en traction.

La composition B, à porosité plus faible, exige moins d'eau pour la réalisation d'un mortier à plasticité identique. Les pores ont un diamètre compris entre 1 et 15 microns et 60 % des pores

BAD ORIGINAL

ont un diamètre compris entre 5 et 10 microns. Cette composition B convient remarquablement aux ciments à mouture plus grossière comme le CPA 400 et le fondu ($2420 \text{ cm}^2/\text{g}$).

Pour la réalisation du mortier, le granulat C nécessite une 5 quantité d'eau élevée, en rapport avec sa porosité. Les résistances intrinsèques de cette céramique sont élevées ; le spectre porométrique assez élargi convient à tous les ciments, sans vraiment offrir de propriétés exceptionnelles pour l'un d'eux.

La composition D exige une quantité d'eau modérée pour élaborer un mortier, ce qui une fois encore est en étroite liaison avec 10 sa porosité ouverte totale. Les pores sont très fins : 0,05 à 0,75 micron, et il y a incompatibilité avec le ciment fondu. La lente décroissance dans le temps des résistances du mortier avec le ciment fondu, montre d'ailleurs qu'il y a dessication progressive du 15 ciment au profit du granulat.

Pour obtenir des bétons à haute résistance à la compression il n'est pas nécessaire d'utiliser exclusivement des granulats artificiels.

Il a été montré en effet, que si l'on dispose de granulats 20 naturels ayant une forte résistance intrinsèque à la compression, il suffit de leur associer un mortier (sable + ciment) ayant une bonne résistance en traction, en raison du développement de forces orthogonales à l'effort appliqué.

C'est alors qu'il est avantageux d'utiliser le mortier 25 (sable artificiel) + ciment puisque la bonne adhérence entre ces deux composants induit une bonne résistance en traction.

En raison des caractéristiques propres de chaque ciment, il est nécessaire d'utiliser la matière poreuse qui lui est strictement adaptée comme cela est montré dans les tableaux ci-après (granulats 30 A et B).

Un exemple de composition de béton préparé conformément à l'invention est donné ci-après.

Formule P pour 1 m³ de béton :

- Porphyre 13/18m/mm	:	510 kg
Porphyre 8/12 "	:	495 kg
Porphyre 5/10 "	:	275 kg
Granulat artificiel 0,5 mm	:	440 kg
Ciment CPA 400 HTS	:	400 kg
Eau	:	220 litres

Les propriétés de ce béton au porphyre sont indiquées dans le tableau IV ci-après.

Dans les mêmes conditions de conservation que le béton au porphyre de formule P, un béton de type courant agréé pour les 5 ouvrages en béton précontraint atteint 450 bars au bout de 90 jours. Il ressort de l'examen du tableau IV que le gain sur la résistance en compression est donc proche de 100 %.

Ce type de béton conforme à l'invention peut parfaitement être mis en oeuvre sur les chantiers. Il peut conduire à un grand 10 allègement des structures précontraintes ou armées.

TABLEAU 1
CARACTÉRISTIQUES DE GRANULATS CÉRAMIQUES

	Type du granulat			
	A	B	C	D
Porosité ouverte moyenne exprimée en poids d'eau absorbée	10 %	3,5 %	10,5 %	8 %
R _t (résistance à la traction) en bars ⊥ à la direction de filage	50,5	105,7	56,8	20,2
R _{t'} en bars // à la direction de filage	47,7	48,6	81,9	23,3
R _c (résistance en compression uniaxiale) en bars	1340	1450	2175	1360
Diamètre moyen des pores	10.442 Å	15.370 Å	9.315 Å	1.598 Å
Surface spécifique des pores ouverts	0,81 m ² /g	0,25 m ² /g	0,77 m ² /g	2,85 m ² /g
Répartition porométrique en microns	de 0,5 à 2	de 1 à 15	de 0,5 à 3,75	de 0,05 à 0,75
	dont 65 %	dont 60 %	dont 30 %	dont 30 %
	de 1 à 1,5	de 5 à 10	de 1 à 1,5	de 0,1 à 0,2

TABLEAU 2
FORMULE DES MORTIERS REALISES AVEC LES GRANULATS CERAMIQUES
 (pour 1 dm³)

	Type de granulat			
	A	B	C	D
Granulat 0,2/5 mm	1150 g	1290 g	1010 g	1285 g
Ciment.	500 g	500 g	500 g	500 g
Eau avec CPA 400	460 g	315 g	430 g	380 g
Eau avec CPA 400 HTS	480 g	315 g	430 g	400 g
Eau avec fondu (ciment alumineux)	460 g	305 g	380 g	370 g
Temps d'écoulement après mélange au Plasticimètre (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)	1 mn 20 s.	1 mn 20 s.	1 mn 20 s.	1 mn 20 s.

TABLEAU 3

PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIERS REALISES AVEC LES
GRANULATS CERAMIQUES (en bars)
(Conservation en sac polyéthylène à 20°C)

		Type de granulat				
	A	B	C	D		
<u>Mortier au CPA 400</u>						
à 7 jours	Rt	Rc	Rt	Rc	Rt	Rc
14 jours	54	250	72	287	60	257
28 jours	67,5	584	77,5	363	69	326
90 jours	65,5	348	89,5	477	75,5	397
	74	462	100,5	536	77	468
<u>Mortier au CPA 400 HTS</u>						
à 7 jours						
14 jours	81,5	392	54	231	51,5	209
28 jours	83,5	473	68	326	63,5	267
90 jours	95	619	79,5	333	70,5	333
	103	575	92,5	533	67,5	451
<u>Mortier au ciment fondu</u>						
à 7 jours						
14 jours	65,5	471	91,5	771	73,5	549
28 jours	63	428	95,5	801	77,5	479
90 jours	49	256	106,5	772	69,5	381
	33,5	160	97,5	781	82,5	416

Rt : résistance en traction/flexion

Rc : résistance à la compression

CPA 400 HTS : ciment portland artificiel à haute teneur en silice résistance de 400 bars à 28 jours.

PROPRIETES MECANIQUES DU BETON AU PORPHYRE DE FORMULE P

TABLEAU 4

	Résistance à la rupture en compression exprimée en bars	Résistance à la rupture en traction exprimée en bars
Essais effectués sur cylindres :		Essais brésiliens effectués sur cylindres :
$\varnothing = 16 \text{ cm}$		$\varnothing = 16 \text{ cm}$
$H = 32 \text{ cm}$		$H = 32 \text{ cm}$
7 jours	28 jours	90 jours
Conservation à 20°C	345	482
en sac PVC		857,5
		39
		45,5
		57,5
Conservation à 60°C	727	827
en étuve		881,5
		52
		58,5
		53,5